رؤى

نحو توحيد الفيزياء*

ستيفن فاينبيرغ

يفترض أن تؤكد التجارب الجارية في المركز الأوروبي للبحث النووي (CERN) وفي المختبرات الأوروبية لفيزياء الجزيئات النموذج الموحد لفيزياء الجزيئات. يستوجب بناء نظرية موحدة لكل التفاعلات الفيزيائية على الأرجح أفكاراً جديدة.

يبحث العديد من الفيزيائيين عن فهم موحد لتنوع الطبيعة، والإنجازات العظمى للفيزياء هي تلك التي قربتنا من هذا الهدف. هكذا وحد إسحاق نيوتن في القرن السابع عشر ميكانيكا الأرض والسماء؛ وفي القرن التاسع عشر استند كليرك ماكسويل إلى أفكار ميكاييل فاراداي لتوحيد البصريات ونظريات الكهرباء والمغناطيس؛ وجمع ألبرت آينشتاين النظرية الهندسية للزمكان ونظرية الجاذبية؛ أخيراً، قربت الميكانيكا الكوانطية خلال العشرينيات الكيمياء والفيزياء الذرية (انظر الشكلين الأول والثاني).

بحث آينشتاين خلال الثلاثين سنة الأخيرة من حياته بلا جدوى عن «نظرية موحدة للمجالات»، تجمع ضمن النسق الصوري نفسه النسبية العامة –نظريته في المكان والجاذبية– ونظرية الكهرومغناطيس. تقدم هذا البحث عن التوحيد مؤخراً لكن في اتجاه مغاير لما كان يتوقعه آينشتاين. لقد وحدت النظرية الحالية للجزيئات الأولية وتفاعلاتها، أي «النموذج الموحد لفيزياء الجزيئات»، الكهرومغناطيس ونظرية التفاعلات الضعيفة (المسؤولة عن التحولات المتبادلة بين النوترونات والبروتونات خلال التفكك الإشعاعي). يصف النموذج الموحد التفاعل القوي الذي يثبت تماسك الكواركات داخل البروتونات والنوترونات، أو تماسك البروتونات والنوترونات داخل النوى الذرية.

نفهم جيداً كيف يمكن توحيد نظرية التفاعلات القوية بنظرية التفاعلات والكهرومغناطيس (إنه «التوحيد الكبير»)، لكن العمل لن يتم على أكمل وجه إلا إذا أدخلنا الجاذبية، الأمر الذي يبدو صعباً جداً. يظن الفيزيائيون أن الصعوبات الظاهرة بين التفاعلات المختلفة ناتجة عن الأحداث التي وقعت في اللحظات الأولى من الكون. ولوصف هذه اللحظات الأولى نحتاج إلى نظرية أحسن للجاذبية والتفاعلات الأخرى. ليس من المستبعد أن نبلغ هذا التوحيد في سنة 2050، لكن النجاح غير مضمون.

الحقول الكوانطية

إن النموذج الموحد لنظرية كوانطية للحقول: مكوناتها الأساسية هي الحقول مثل الحقلين المغناطيسي والكهربائي للكهرومغناطيس. تنقل تغيرات هذه الحقول الطاقة وكمية الحركة من نقطة مكانية إلى أخرى؛ تشترط الميكانيكا الكوانطية أن تكون هذه التغيرات في حزمات، أو «كوانطا» (quanta)، تظهر في التجارب في شكل جزيئات أولية. فمثلاً إن كوانطوم (quantum) الحقل الكهرومغناطيسي هو الفوطون.

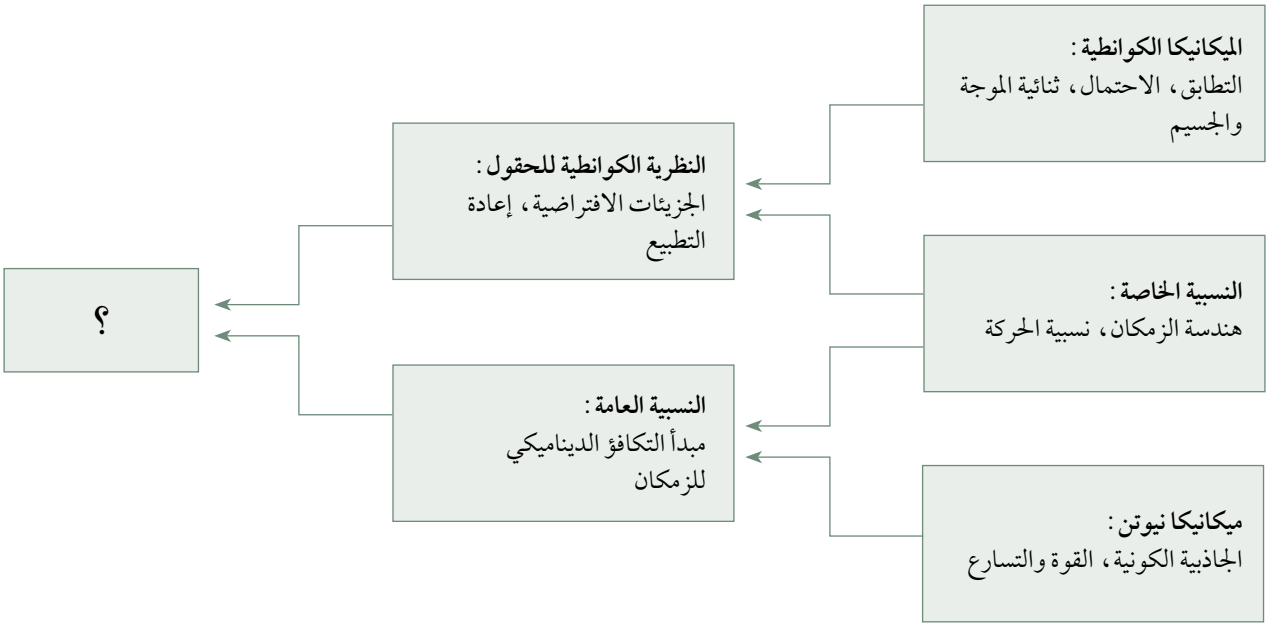
يتضمن النموذج الموحد حقلاً بالنسبة لكل نوع من الجزيئات الأولية الملاحظة في مختبرات الفيزياء للطاقات الكبرى (انظر الشكل الثالث). تتطابق مع الليبتونات (leptons): تتطابق كوانطاتها مع الإلكترون ومع جزيئات مماثلة لكنها أثقل تسمى المويونات (muons) وتويونات (tauons)، ومع جزيئات كهربائية محايدة هي النوترونات. هناك حقول مرتبطة مع أنواع مختلفة من الكواركات

(quarks) يكون بعضها مجتمعاً داخل البروتونات والنوترونات التي تشكل نوى الذرات. يتسبب في تفاعلات هذه الجزيئات تبادل الفوتونات والجزيئات الأولية المماثلة: تنقل البوزونات (bosons W– وW+ وZº) التفاعلات الضعيفة، وتنقل ثمانية أنواع من الغليونات (gluons) التفاعلات القوية.

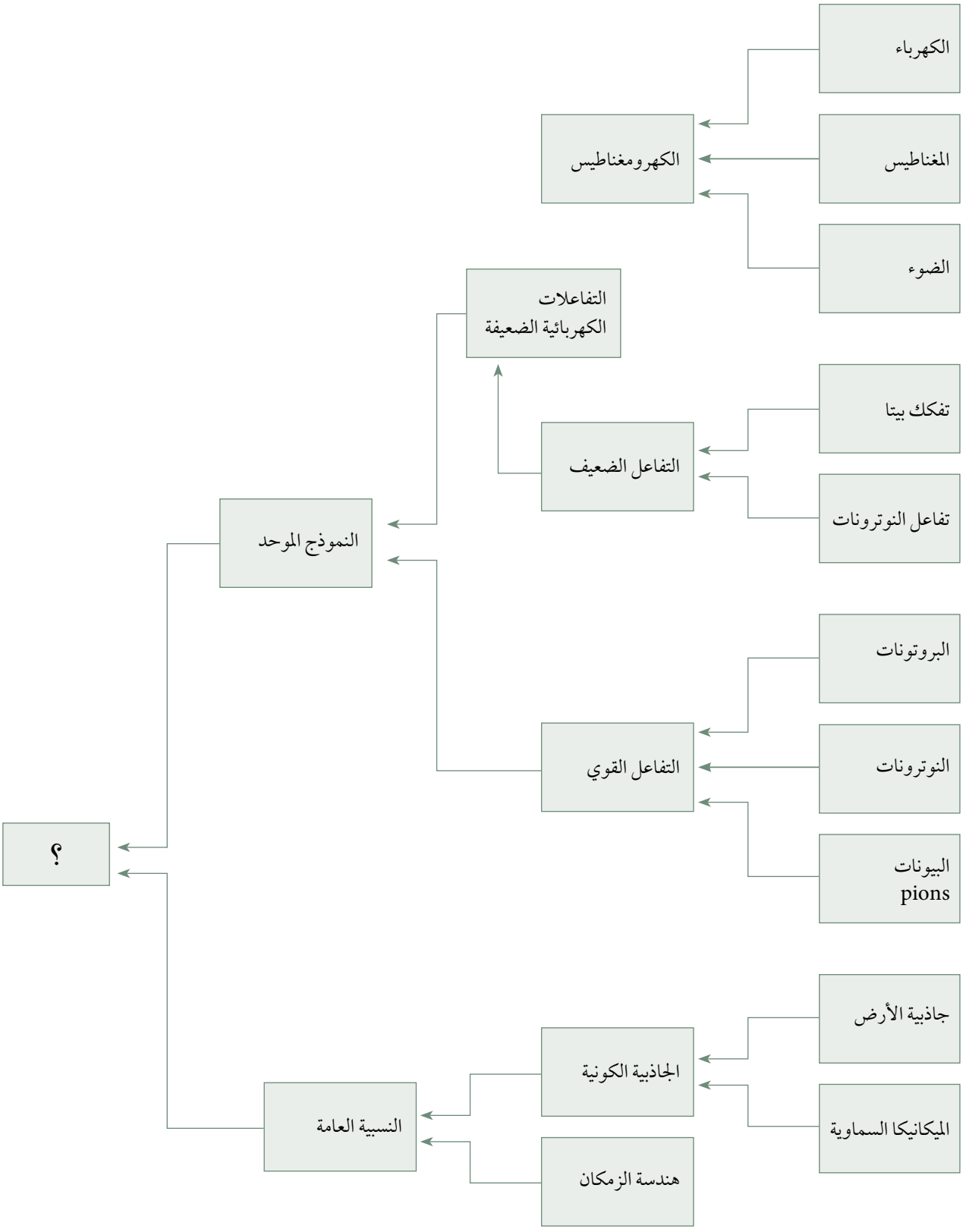
تحوز هذه الجزيئات كتلات متنوعة لا تبدو موزعة بشكل منظم: إذ أن الإلكترون أخف من الكوارك، الأثقل بـ350000 مرة، والنوترونات أخف منه. لا يبين النموذج الموحد لماذا تحوز الجزيئات كتلاً نقيسها، ما عدا إذا أضفنا حقولاً إضافية «متدرّجة» (scalaires). يعني لفظ «مدرج» أن حقوله ليست موجهة عكس الحقول الكهربائية والمغناطيسية، أو باقي حقول النموذج الموحد. لا يناقض الحضور الشامل للحقول المدرجة في المكان أحد المبادئ الفيزيائية المتينة، الذي مؤداه أن المكان له المظهر نفسه في كل الاتجاهات؛ في حين إذا وجدنا حقلاً مغناطيسياً بارزاً في كل نقطة من المكان، مثلاً بوصلة تميز وجهة مكانية مفضلة، لا يكون مستقلاً عن المكان. يعطي تفاعل حقول النموذج الموحد وهذه الحقول المدرّجة والشاملة الحضور كتلاتها لجزيئات النموذج الموحد.

لإكمال النموذج الموحد يجب أن نثبت وجود هذه الحقول المدرجة ونعدُّها، ما يعني البحث عن جزيئات أولية جديدة، جزيئات هيغس (Higgs)، تكون هي كوانطات هذه الحقول. نعتقد أن هذا البحث سيتم في سنة 2020، بعد عشرات السنين من اشتغال الآلة المسرعة (LHC) (تقوم بخلق اصطدام بين الهادرونات hadrons) التي تبنى في المركز الأوروبي للبحث النووي. يجب أن نكتشف، في أسوأ الحالات قبل سنة 2020، جزيئاً واحداً مدرجاً ومحايداً كهربائيا. ستكون طامة كبرى لو اقتصر البحث على هذا الجزيء، لأن الفيزيائيين سيصيرون من دون إشارات تقودهم إلى حل «مشكل التراتب» الخاص بالطاقات النموذجية في الفيزياء.

إن أثقل جزيء معروف في النموذج الموحد هو الكوارك توب (quark top). تمثل كتلته طاقة بمقدار 175 جيغا إليكترونفولت (إن الجيغا إليكترونفولت، أو GeV، طاقة تفوق بقليل تلك المتضمنة في كتلة البروتون). نظن أن جزيئات هيغس لها كتل من الدرجة نفسها تتراوح بين 100 ومئات عدة من جيغا إليكترونفولت (GeV). تشير ملاحظات متنوعة في المقابل إلى أن معادلات النظرية الموحدة المستقبلية ستتضمن تشكيلة كبيرة من الكتلات. توجد في النموذج الموحد تفاعلات كثافات مختلفة كثيراً بين حقول الغليونات والبوزونات W وZ وحقول الفوتونات؛ وهذا هو السبب في أن التفاعلات التي تتم أثناء تبادلات الغليونات، في الظروف العادية، تكون أكثر كثافة بمائة مرة من الأخريات. إن الجاذبية أضعف من ذلك بشكل كبير، إذ يكون التجاذب الجاذبي بين الإلكترون والبروتون، داخل ذرة الهيدروجين، حوالي 10^{39} مرة أقل كثافة من تجاذبها الكهربائي.



الشكل الأول: يجري البحث عن توحيد مختلف الأوصاف النظرية في نظرية واحدة منذ زمن بعيد. يصف النموذج الموحد لفيزياء الجزيئات بحق ثلاثة من بين أربع تفاعلات أساسية في الطبيعة: التفاعلات الكهرومغناطيسية، التفاعلات القوية، والضعيفة. غير أنه لم يتم توحيد هذه النظرية مع نظرية النسبية العامة التي تصف قوى الجاذبية وطبيعة الزمكان.



الشكل الثاني : تحدث التطورات الأكثر أساسية في الفيزياء عندما تجتمع مبادئ النظريات المختلفة في إطار وحيد . لا ندري بعد ما هي المبادئ الموجِّهة التي تؤسس توحيد نظرية الكوانطا للحقول التي يصفها النموذج الموحد والنسبية العامة .

ما وراء الكوارك توب

غير أن كل كثافات هذا التفاعل تتوقف على الطاقة التي تقاس بها (انظر الشكل الرابع). أليس غريباً أن يكون لتفاعلات الحقول الكثافة نفسها في طاقة تزيد قليلاً عن 10^{16} جيغا إليكترونفولت (GeV)؟ وأن يكون لقوة الجاذبية الكثافة نفسها في طاقة تصل بصعوبة إلى 10^{18} جيغا إليكترونفولت (تصير الجاذبية، مع بعض التحسينات لنظرية الجاذبية، كثيفة بنفس مقدار باقي التفاعل مع الطاقات، أو يصير لهذه التفاعلات الكثافة نفسها، أي نحو 10^{16} جيغا إليكترونفولت)؟ إذا كان الفيزيائيون معتادين على علاقات كتلة مرتفعة (مثلاً تساوي العلاقة 350000 بالنسبة للكوارك توب والإلكترون)، فإنهم يظلون منبهرين أمام العلاقة الهائلة بين طاقة التوحيد الأساسية وطاقات 100 جيغا إليكترونفولت التي يعتبرها النموذج الموحد (انظر الشكل الخامس). لماذا هذه العلاقة الهائلة؟ ولماذا هذه القفزة الكبيرة في طاقات الفيزياء؟ إنه مشكل التراتبية الذي لن يتم حله بتعديل ثوابت النظرية، بل بالبحث عن مبادئ أساسية جديدة.

هكذا اقترح منظرون أفكاراً مهمة ومتنوعة، فقد أدخل بعضهم مبدأ تناظر جديد، أي التناظر الفائق (بفضله تقارب كثافات التفاعلات بشكل أفضل 10^{16} جيغا إليكترونفولت)؛ واقترح البعض الآخر تفاعلات قوية جديدة أطلقوا عليها اسم تقنية اللون (انظر الشكل السادس). تتضمن كل هذه النظريات تفاعلات إضافية تتحد بالتفاعلات الكهرومغناطيسية الضعيفة والقوية ذات طاقة تقارب 10^{16} جيغا إليكترونفولت. تصبح هذه التفاعلات ملحوظة في طاقات أقل من 10^{16} جيغا إليكترونفولت، لكن لا يمكننا ملاحظتها مباشرة لأنها لا تؤثر على جزيئات النموذج الموحد المعروفة؛ إنها لا تؤثر سوى في الجزيئات ذات كتلة كبيرة كي تصنع في المختبر. غير أن هذه الجزيئات «الثقيلة جداً» لها كتلة أقل بكثير من 10^{16} جيغا إليكترونفولت، لأنها تدين بكتلتها للتفاعلات الجديدة. تتفاعل الجزيئات المعروفة اليوم، حسب هذه النظرية، مع الجزيئات الثقيلة جداً، وتكون كتلتها نتيجة لهذه التفاعلات الضعيفة إلى حد ما. يمكن لهذه الآلية أن تحل مشكل التراتبية، إذ ستكون الجزيئات المعروفة أخف من الجزيئات الثقيلة جداً التي تكون بدورها أخف من 10^{16} جيغا إليكترونفولت.

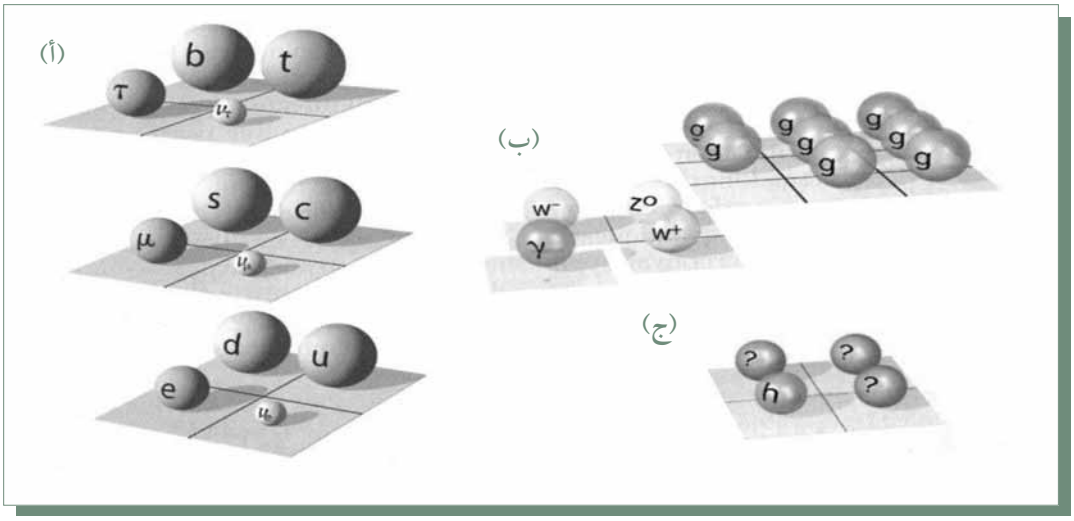
تحوز هذه الأفكار كلها خاصية مشتركة، مؤداها أنها تفترض وجود جزيئات جديدة وكتلة أكبر قليلاً من 1000 جيغا. يفترض أن يتم اكتشاف بعض هذه الجزيئات من قبل الآلة المسرّعة (LHC) أو قبل ذلك في مختبر فيرمي (Fermilab) أو في المركَز الأوروبي للبحث النووي. إذا تم اكتشاف هذه الجزيئات، وجب إنشاء آلات مسرّعة جديدة لاكتشاف خصائصها. حينئذ فقط نستطيع معرفة إن كانَت بعضها قد عاشت اللحظات الأولى للكون كي تؤلف «المادة المظلمة» الموجودة بين المجرات التي تشكل جوهر الكتلة الحالية للكون. المرجح أننا سنفهم حوالي سنة 2050 أسباب العلاقة الهائلة بين الطاقات الملاحظة في الفيزياء.

ثم لا أدري كيف يمكن دراسة الظواهر ذات طاقات من درجة 10^{16} جيغا إليكترونفولت تجريبياً. يتناسب مسرع الجزيئات في التقنيات الحالية مع الطاقة التي ينقل؛ يجب على المسرع، إذا كان عليه أن يعطي للجزيئات طاقة ذات 10^{16} جيغا إليكترونفولت، أن يحوز قطراً يساوي قطر كوكبنا. وحتى إذا وجدنا وسيلة أخرى لتركيز كميات الطاقة الهائلة، فإن الظواهر التي توجد في هذه الطاقات ستكون نادرة جداً كي نحصل على معلومات مفيدة. غير أنه حتى لو لم نستطع دراسة الظواهر ذات طاقات 10^{16} جيغا إليكترونفولت مباشرة، فمن الممكن بلوغ آثار مشابهة احتمالاً لطاقات غير موصوفة من قبل النموذج الموحد.

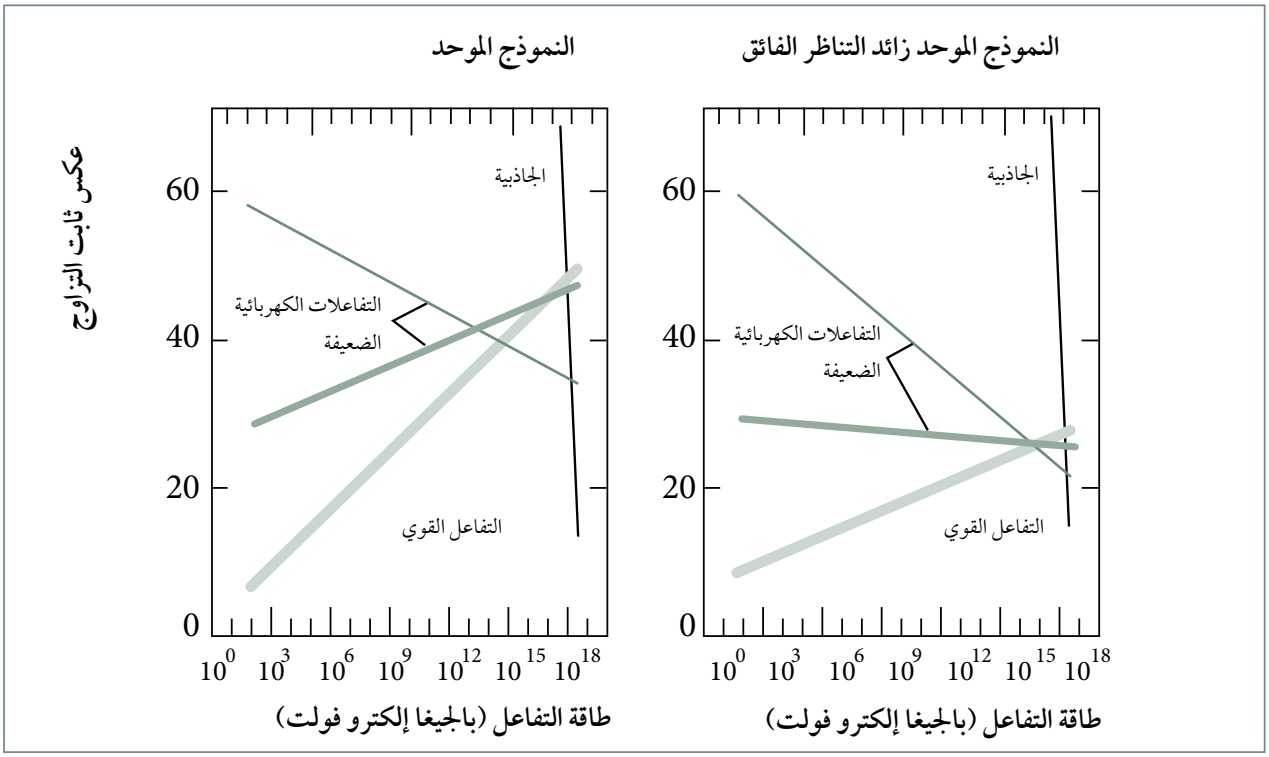
من مساق الفنون والعلوم ضمن فعاليات مشروع توظيف الرسوم المتحركة في التعليم.

نظريات الحقل

إن النموذج الموحد لنظرية كوانطية للحقول من نوع خاص: إنها «قابلة لإعادة التطبيع». ظهر هذا النعت في الأربعينيات عندما تعلم الفيزيائيون استعمال أولى النظريات الكوانطية للحقول لحساب تفاوتات صغيرة بين مستويات الطاقة الذرية، لقد لاحظوا أن حساباتهم تقود بانتظام إلى قيم لانهائية، وكانوا يفسرون ظهور هذه الكميات اللانهائية كعلامة على نقص خطير أو استعمال للنظريات في ظروف لا تنطبق عليها. تعلم الفيزيائيون تدريجياً معالجة هذه الكميات اللانهائية عبر صبها في إعادة تعريف، أي «إعادة تطبيع»، عدد صغير من الثوابت الفيزيائية مثل شحنة وكتلة الإلكترون (تتضمن الصيغة الأدنى من النموذج الموحد، ذي جزيء مدرج وحيد، ثمانية عشر ثابتاً من هذا النوع).



الشكل الثالث: تصف فيزياء الجزيئات كل جزيء مكون للمادة وكل قوة بواسطة حقل كوانطي. إن الجزيئات الرئيسة للمادة هي الفيرميونات (Fermions)؛ توجد ثلاثة «أجيال» منها: تحوز جزئيات كل جيل الخصائص نفسها (أ)؛ تُضمن التفاعلات الأساسية من قبل تبادل بوزونات (Bosons) (ب) تنتظم بعد ثلاثة تناظرات. علاوة على أن جزيئاً أو أكثر من جزيئات هيغس (ج) يولد كتلة باقي الحقول.



الشكل الرابع: تبين الاستنتاجات النظرية أن التفاعلات الثلاثة للنظرية النموذجية الموحدة (التفاعل القوي، التفاعلات الكهربائية الضعيفة، الناجمة عن توحيد التفاعلات الضعيفة والتفاعلات الكهرومغناطيسية) لها الكثافة نفسها في طاقة عالية (أ). يبدو التركيز النظري أفضل بكثير عندما نستعمل ما يسمى بالتناظر الفائق (ب). يشير سمك المنحنيات إلى لايقين ثوابت التزاوج. كان للنظريات التي يعمل فيها هذا الإجراء –النظريات القابلة لإعادة التطبيع– بنيات أبسط من النظريات التي لا تقبل إعادة التطبيع.

إقصاء التفاعلات

قادت هذه البنية البسيطة القابلة لإعادة تطبيع النموذج الموحد إلى تنبؤات كمية دقيقة أكدت تحققاتها التجريبية النظرية، لاسيما أن مبدأ إعادة التطبيع، عندما يركب مع مختلف مبادئ التناظر الخاصة بالنموذج الموحد، يقصي بعض الظواهر التي لم تتم ملاحظتها مثل تفكك البروتونات، وتتوقع أن تكون كتلة النوترينو معدومة. اعتقد العديد من الفيزيائيين أن كل نظرية كوانطية للحقول يجب أن تكون قابلة لإعادة التطبيع؛ وهو الشرط الذي قادهم أثناء صياغتهم للنموذج الموحد. لذا انزعجوا كثيراً عند اكتشافهم، لأسباب جوهرية، أن النظريات الكوانطية لحقل الجاذبية لا تقبل على الأرجح إعادة التطبيع.

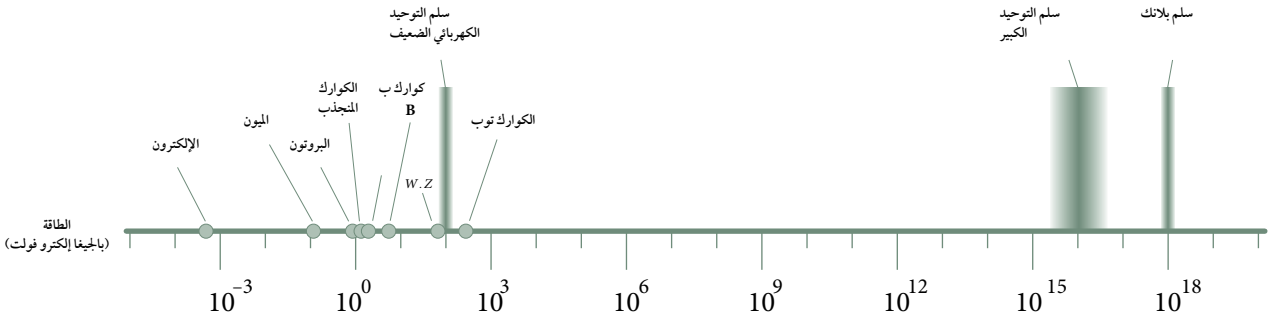
تغيرت الوضعية الآن، إذ تبدو نظريات فيزياء الجزيئات مختلفة بالنظر إلى طاقة الظواهر والتفاعلات المعنية، وبخاصة كثافة التفاعلات التي يكفلها تبادل جزيء كثيف جداً وضعيف جداً بالطاقات الضعيفة بالنسبة لكتلة الجزيء. يمكن أن تكون نتائج أخرى محدودة بالشاكلة نفسها، نكون مع الطاقات الضعيفة أمام نظرية للحقول تعتبر فعالة، تكون فيها هذه التفاعلات مهملة. اكتشف المنظرون أن كل نظرية كوانطية أساسية، متطابقة مع النظرية النسبية الخاصة، تشبه نظرية كوانطية قابلة لإعادة التطبيع ذات طاقات دنيا. وعلى الرغم من أن النظريات الفعالة تقصي اللانهايات، فإن ليس لها البنية البسيطة للنظريات القابلة لإعادة التطبيع بالمعنى الكلاسيكي. تظهر تفاعلات إضافية، يتم حدها فقط، بدل أن تقصى تماماً، في طاقات أدنى من طاقة مميزة.

إن الجاذبية هي نفسها إحدى التفاعلات المحدودة غير القابلة لإعادة التطبيع (تشير كثافتها، أو بالأحرى ضعفها، ذات الطاقات الضعيفة إلى أن سلم طاقتها الأساسية يوجد في 10^{18} جيغا إلكترونفولت تقريباً. يوجد تفاعل آخر غير قابل لإعادة التطبيع ومحدود، يجعل البروتون غير ثابت، وبنصف حياة (الزمن الذي يكفي لتفكيك نصف بروتونات زمرة معينة)، بين 10^{31} و10^{34} سنة، مدة طويلة لا تمنحنا الفرصة لملاحظة تفكيكها حتى في سنة 2050. يمكن أن يمنح تفاعل آخر غير قابل لإعادة التطبيع ومحدود للنوترونات كتلة تافهة، حوالي 10^{-11} جيغا إلكترونفولت. يبدو أن بعض التجارب قد اكتشفت كتلة من هذا النوع؛ وهو الأمر الذي يفترض الحسم فيه نهائياً قبل سنة 2050.

تقدم ملاحظات من هذا القبيل مؤشرات قيمة لبناء نظرية توحد كل التفاعلات، غير أن اكتشاف هذه النظرية يكاد يكون مستحيلاً من

من مساق الفنون والعلوم في التعليم.

دون إدخال مفاهيم جديدة تماماً. بعض الأفكار الواعدة قد رأت النور. وبذلك تعرض خمس نظريات مختلفة كائنات صغيرة جداً وأحادية البعد تسمى «الأوتار». تطابق الأساليب المتنوعة لتردد هذه الأوتار، ذات الطاقة الضعيفة، مع أنواع مختلفة من الجزيئات. علاوة على أن هذه الأوتار تمنح على ما يبدو، في زمان ومكان ذي عشرة أبعاد، نظريات الجاذبية المتناهية تماماً تتعلق بتفاعلات أخرى. بالطبع لا نعيش في مكان ذي عشرة أبعاد، من الممكن أن تكون ستة من هذه الأبعاد ملفوفة على نفسها بشكل ضيق إلى حد لا نستطيع ملاحظتها في الظواهر ذات طاقة أدنى من 10^{16} جيغا إلكترونفولت لكل جزيء. قد تكون نظريات الأوتار الخمسة هذه (وكذا النظرية الكوانطية للحقول ذات أحد عشر بعداً)، وفق المعلومات الحديثة، تخمينات مختلفة للنظرية الأساسية نفسها، المسماة «النظرية الغريبة (théorie M)». [1] لا أحد يعرف إلى حد الآن كتابة معادلات هذه النظرية.



الشكل الخامس: إن مشكل التراتب محرج في الفيزياء المعاصرة. لقد سبرت التجارب (الخط الأصفر) غور المادة إلى حدود طاقة ذات 200 جيغا إلكترونفولت، وكشفت عن وجود جزيئات (الأحمر) وحقول (الأخضر) يصفها النموذج الموحد لفيزياء الجزيئات بشكل جيد. لماذا يوجد على الرغم من ذلك هذا التفاوت الهائل بين الجزيئات الأكثر كثافة والطاقة التي يبدو أن التفاعلات المختلفة متوحدة بها نحو 10^{18} جيغا إلكترونفولت؟

خارج المكان والزمان

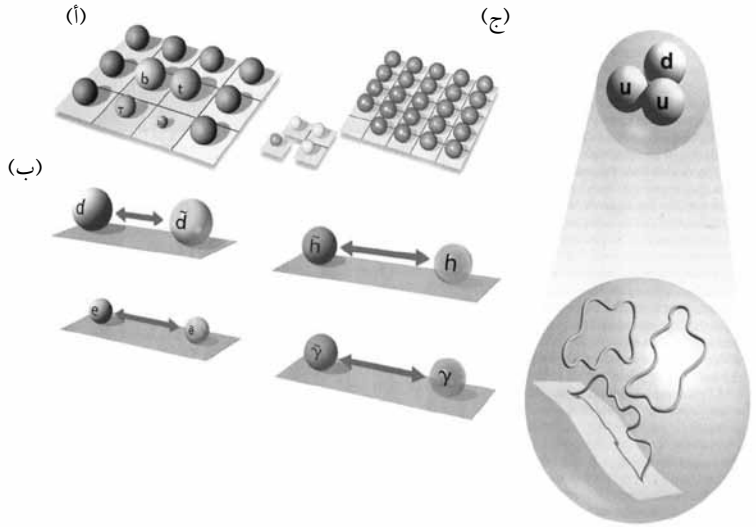
يصطدم البحث عن هذه المعادلات بعائقين أساسين: أولاً نجهل المبادئ الفيزيائية التي تتحكم في النظرية الأساسية، فعندما بنى آينشتاين نظرية النسبية العامة كان موجهاً بمبدأ استنبطه من الخصائص المعروفة للجاذبية، أي مبدأ التكافؤ بين قوى التجاذب وقوى الطاقة؛ ووجه تطور النموذج الموحد من قبل مبدأ يسمى تناظر جوج (Jauge) الذي عمّم خاصية مفادها أن ما يهم هو الاختلافات في الطاقة الكهربائية فقط، وليس الطاقات الكهربائية ذاتها.

في حين أننا لم نكتشف بعد أي مبدأ أساسي يتحكم في النظرية الغريبة. تشبه التخمينات المختلفة لهذه النظرية نظريات الأوتار أو الحقول في أزمنة وأمكنة ذات أبعاد مختلفة، غير أن النظرية الأساسية لا تبدو قابلة للصياغة في الزمان والمكان. إن النظرية الكوانطية للحقول محددة بقوة بواسطة المبادئ المرتبطة بطبيعة الزمكان رباعي الأبعاد، ومتضمنة في نظرية النسبية الخاصة. كيف سنجد إذن الأفكار التي نحتاج لصياغة نظرية أساسية حقاً، في حين يفترض أن تصف هذه النظرية مجالاً تصير فيه كل الحدوس المستنبطة من الحياة في الزمكان غير قابلة للتطبيق؟

من ناحية أخرى، حتى لو تمكنا من صياغة نظرية أساسية، من المحتمل ألا نستطيع استعمالها لإنجاز تنبؤات قابلة للإبطال بواسطة التجارب. أغلب تنبؤات النموذج الموحد التي تم التحقق منها استندت إلى منهج حساب يسمى نظرية الاضطرابات (perturbations). يُحسب احتمال ظاهرة فيزيائية في الميكانيكا الكوانطية انطلاقاً من احتمالية مختلف المراحل الوسطى التي تتدخل في مسار هذه الظاهرة. عندما نستعمل نظرية الاضطرابات، نعتبر في البداية المراحل الوسطى الأكثر بساطة، وهكذا دواليك. لا يكون هذا الحساب ممكناً إلا إذا ساهمت المراحل المعقدة أكثر فأكثر في الاحتمالية الشاملة أقل فأقل، الأمر الذي يكون عادياً عندما تكون التفاعلات الحاضرة ضعيفة بشكل كاف. أحياناً تكون النظريات التي تعتبر التفاعلات قوية جداً مكافئة لنظريات أخرى تتضمن تفاعلات ضعيفة جداً: إنها تهيئ نفسها بذلك للمعالجة بواسطة نظرية الاضطرابات. مثل هذا التكافؤ يبدو متحققاً بالنسبة لبعض الأزواج من مجموع نظريات الأوتار الخمسة ذات عشرة أبعاد، وبالنسبة لنظرية الحقل ذات أحد عشر بعداً السالفة الذكر. إن تفاعلات النظرية الأساسية للأسف ليست على الأرجح لا قوية جداً ولا ضعيفة جداً، ما يستبعد الاعتماد على المعالجة الاضطرابية.

لا ندري متى ستحل هذه المشاكل، قد يكون ذلك غداً عبر مقال ينشره منظر شاب، أو قد لا يكون ذلك قبل سنة 2050، بل ربما 2150. لكن بمجرد ما نحصل على الحلول، لن نجد أي صعوبة في تحديد نظرية التوحيد الأساسي الجيدة، إذ يكفي النظر فيما إذا كانت النظرية المقترحة، المكتشفة حقاً، تأخذ في الحسبان القيم المقاسة كثوابت فيزيائية للنموذج الموحد، وكذا نتائج أخرى، لا تقبل التفسير بواسطة النموذج الموحد.

عندما سنفهم أخيراً سلوك الجزيئات والتفاعلات ذات طاقات تصل إلى 10^{18} جيغا إلكترونفولت، ربما سنلاقي ألغازاً جديدة تُبْعد من جديد التوحيد النهائي. شخصياً أشك في ذلك، لا شيء يشير إلى وجود سلم أساسي للطاقة يتجاوز 10^{18} جيغا إلكترونفولت، بل إن نظرية الأوتار ذاتها تشير إلى أن الطاقات التي تفوق هذه القيمة ليست لها أي دلالة فيزيائية.



الشكل السادس: ماذا تبقى لنا اكتشافه؟ يمكن استبدال العديد من أنواع النظريات بالنموذج الموحد. تُدخل نظريات تقنية اللون (أ) تفاعلات جديدة مماثلة لتفاعلات اللون الثلاثة التي تربط الكواركات. لا تزال «أجيال» من الجزيئات المجهولة تصاحب التفاعلات. يربط التناظر الفائق (ب) الفيرميونات بالبوزونات ويقابل قرائن مناظرة فائقة لكل جزيء من النموذج الموحد. أما النظرية الغريبة (ج) ونظريات الأوتار فتعتبر كائنات جديدة من قبيل الأوتار الصغيرة والحلقات أو الصفائح التي تسلك كجزيئات ذات طاقات ضعيفة.

من مساق الفنون والعلوم في التعليم.

يمكننا اكتشاف نظرية موحدة تصف الطبيعة بكل طاقاتها من الجواب عن الأسئلة الكونية الأكثر عمقاً: هل بدأ تمدد ضباب الأجرام الذي نسميه الانفجار الكبير في لحظة محددة من الماضي؟ أليس الانفجار الكبير سوى حدث من بين آخر في تاريخ كون أوسع حيث تحدث، في كل الأزمنة، الانفجارات الأولية ذاتها الكبيرة والصغيرة؟ إذا كان الجواب بنعم، فهل يتغير ما نسميه الثوابت الطبيعية، أي القوانين الطبيعية، من انفجار إلى آخر؟

إن دراسة هذه الأسئلة لا يدل على نهاية الفيزياء، بل لن يساعد على الأرجح حتى على حل بعض المشاكل التي تواجه الفيزياء الحالية من قبيل فهم الغليان أو ضعف المقاومة في درجة حرارة عالية. في المقابل ستؤشر على نهاية نوع من الفيزياء، أي فيزياء البحث عن نظرية موحدة تتولد عنها كل ظواهر الطبيعة.

ستيفن فاينبيرغ
رئيس فريق البحث في الفيزياء النظرية بجامعة أوستين

ترجمة: د. يوسف تيبس
أستاذ المنطق والفلسفة المعاصرة، جامعة محمد بن عبد الله، فاس، المغرب

الهوامش:

* هذا النص مقتبس من:
STEVEN WEINBERG, Vers l'unification de la physique, in *Pour la science*, La science en 2050, Janvier 2000.
وقد ترجم خصيصاً لمجلة **رؤى تربوية**.

[1] تسمى كذلك لأنها تجمع بين عدد من النظريات من قبيل الجاذبية الكوانطية وتوحيد القوى ونظرية كالوزا- كلاين ونظرية يونغ- مايلز والتناظر الفائق. إنها أشبه بنظرية تفسر كل شيء، لذا اختصر اسمها في الحرف الأول من كلمة «Mysterious».

المراجع:

- Steven Weinberg, Unified Theories of Elementary-particle Interaction, in Scientific American, vol. 231, n 1, pp. 50-59, juillet 1974.
- Steven Weinberg, Dreams of a Final Theory, Pantheon Books, 1992.
- Edward Witten, Reflections on the Fate of Spacetime, in Physics today, vol. 49, n 4, pp. 24-30, avril 1996.
- Edward Witten, Duality, Spacetime and Quantum Mechanics, in Physics today, vol. 50, n 5, pp. 28-33, mai 1997.
- Brian Greene, the Elegant Universe: Superstrings, Hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory, W.W. Norton, 1999.

من ورشة حول منظومة عباءة الخبير قدمها الخبير لوك أبووت في مقر مشروع وليد وهيلين القطان لتطوير البحث والتعليم في العلوم برام الله.